بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

# افزایش مرزهای توانی و بهبود عملکرد لیزر تک-دیسکی با تغییر طول‌موج دمش

**سعید رادمرد، شهرام کاظمی و محمد آقایی.**

**مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران**

**چکیده – با در نظر گرفتن عوامل محدودکنندهٔ افزایش چگالی توان دمش در لیزر دیسک نازک مشتمل بر تخریب گرمایی دیسک و شار دفع حرارت از دیسک، افزایش توان قابل حصول و بهبود کیفیت باریکه خروج لیزر در سامانه‌های تک-دیسکی گزارش شده است. نتایج تجربی مربوط به دو طول‌موج دمش ۹۶۹ و ۹۴۰ نانومتر در رژیم کاری کیلووات با استفاده از دو چیدمان مختلف ارائه شده است. افزایش حدود ۴۰ درصدی در توان بیشینهٔ قابل انتظار از یک سامانهٔ تک-دیسکی و بهبود کیفیت باریکه تا حدود ۳۰ درصد با تغییر طول‌موج دمش پیش‌بینی می‌شود.**

کلید واژه- اثرات حرارتی، دمش ولیزر دیسک نازک.

# Enhancement of Output Power Boundaries and Improvement of Single-Disk Laser Operation by Changing Pumping Wavelength

Saeid Radmard, Shahram Kazemi, and Mohammad Aghaei

Iranian National Center for Laser Science and Technology (INLC)

Abstract- Increasing maximum extractable power and improvement of beam quality of the laser considering power scaling restrictions in single-disk configuration is presented. Experimental results of two different laser set-ups in kW regime with 969 and 940 nm pump sources reported. Enhancement about 40% in maximum output power and improvement about 30% in beam quality factor, predictable utilizing 969 nm pumping sources.

Keywords: Thermal Effects, Pumping, Thin Disk Laser.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30 ]



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

## مقدمه

یکی از مهم‌ترین ویژگی لیزرهای دیسکی قابلیت افزایش توان است. بدین معنی که با افزایش قطر لکهٔ دمش در چگالی توان دمش ثابت، توان خروجی لیزر دیسک نازک افزایش می‌یابد [۱]. یکی از محدودیت‌های افزایش توان خروجی با افزایش قطر ناحیهٔ دمش، گسیل خود به خودی تقویت‌شده[1] است، این مسئله با راهکارهای مختلفی قابل-کنترل است [۲و ۳]. به‌علاوه، حصول همپوشانی مطلوب بین ناحیهٔ دمش و مدهای مرتبهٔ پایین تشدیدگر، طراحی تشدیدگر برای قطر لکه‌های دمش بزرگ، را پیچیده‌تر می‌سازد[۴]. به بیان دیگر در یک تشدیدگر اپتیکی مشخص، فاکتور $M^2$ پرتو لیزر متناسب با توان دوم قطر لکهٔ دمش افزایش می‌یابد. بنابراین دستیابی به توان‌های بالاتر با کوچک‌ترین قطر لکهٔ دمش ممکن مطلوب است [۴].

با رویکرد خنک‌سازی و مسائل حرارتی، چگالی دمش در لیزر دیسک نازک با دو عامل دیگر نیز محدود شده است. عامل اول آستانهٔ تخریب گرمایی[2] دیسک و عامل دوم شار دفع حرارت[3] از دیسک است[۵]. در این مقاله با استفاده از دو چیدمان آزمایشگاهی با دمش ۹۶۹ و ۹۴۰ نانومتر نتایج محاسبات راست‌آزمایی شده‌اند. همچنین قابلیت افزایش توان در لیزر دیسک نازک تک-دیسکی Yb:YAG با در نظر گرفتن محدودیت‌های افزایش توان توصیف شده و مورد بررسی قرار گرفته است.

## روش تحلیل

برای شبیه‌سازی فرآیند لیزر معادلات آهنگ، جذب دمش، و معادلهٔ رسانش یک کد در مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران نوشته‌شده است. این کد بر اساس حل عددی معادلات دیفرانسیل جفت شدهٔ آهنگ[4]، رسانش[5]، جذب با روش تکرار خودسازگار[6] و با اعمال شرط تعادل بین اتلاف و بهرهٔ لیزر نوشته شده است و به‌صورت مبسوط در منابع [۶] و [۷] توضیح داده‌شده است. پهنای سطح مقطع جذب Yb:YAG در طول‌موج ۹۶۹ نانومتر نسبت به پهنای گسیل منابع دمش مرسوم کمتر است. بنابراین برای توسعهٔ کد نوشته‌شده به دمش در طول‌موج ۹۶۹ نانومتر، در نظر گرفتن پهنای گسیل منبع دمش و پهنای جذب در فرایند جذب ضروری است. توزیع طیفی دیود لیزر دمش با استفاده از روش مونت-کارلو استحصال و با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شده است. همچنین مقادیر اندازه‌گیری شدهٔ سطح مقطع جذب در طول‌موج ۹۶۹ نانو متر به‌صورت تابعی از دما و طول‌موج برونیابی شده و مورد استفاده قرارگرفته‌اند.

دو چیدمان مختلف آزمایشگاهی لیزر دیسک نازک با دمش ۹۶۹ و ۹۴۰ نانومتر در مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران طراحی و ساخته‌شده است. جزئیات چیدمان با دمش ۹۴۰ نانومتر در منابع [۶] و [۸] توضیح داده‌شده است. کلیات چیدمان اپتیکی سامانهٔ دمش ۹۶۹ نانومتری مشابه چیدمان ۹۴۰ نانومتری است. اما با توجه به ویژگی‌های اپتیکی متفاوت منابع دمش سایز لکهٔ دمش در سطح دیسک در دو طول‌موج مذکور، متفاوت است. همچنین برای طول‌موج دمش ۹۶۹ نانومتر از یک سامانهٔ دمش ۱۶ عبوری و برای طول‌موج ۹۴۰ نانومتر سامانهٔ دمش ۳۲

[1] Amplified spontaneous emission
[2] Thermal damage threshold
[3] Heat removal flux
[4] Rate equations
[5] Conduction
[6] Self-consistent iteration

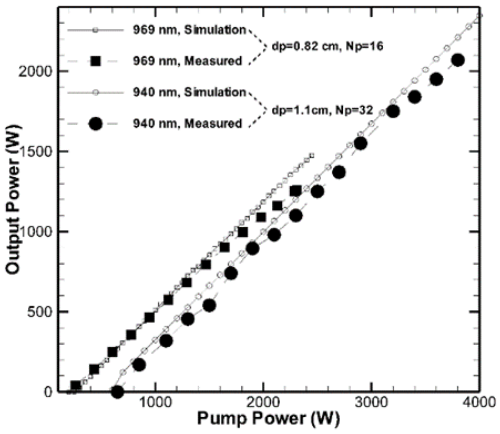


این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30 ]

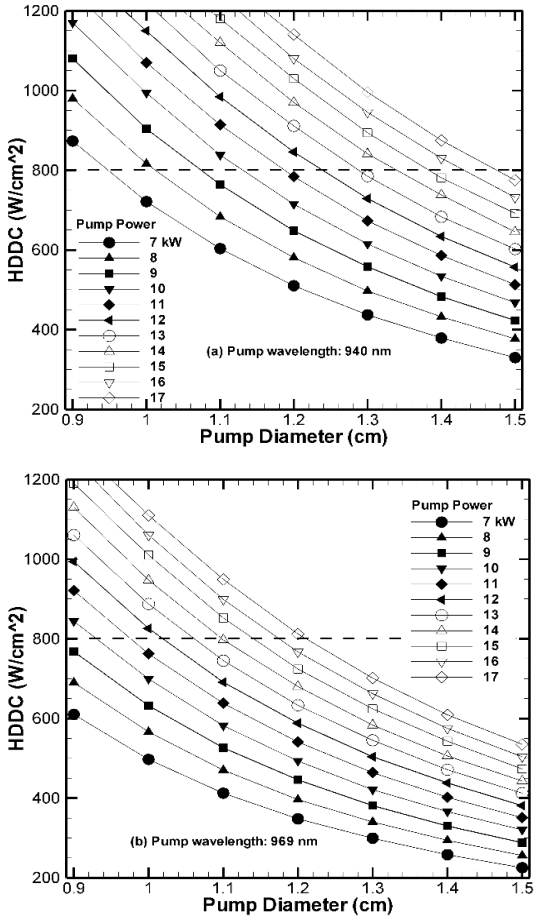
عبوری استفاده شده است. همچنین در طول‌موج دمش ۹۶۹ نانومتر شکل طیفی دیود لیزرهای دمش با استفاده از توری حجمی براگ[7] پایدار شده است. چیدمان اپتیکی شکل‌دهی پرتو[8] و سامانهٔ دمش چندعبوری[9]، شکلی تقریباً یکنواخت[10] از دمش بر روی دیسک ایجاد می‌کنند.

نتایج اندازه‌گیری‌های توان خروجی در شکل (۱) با مقادیر پیش‌بینی شدهٔ تجربی مقایسه شده است. با توجه به متفاوت بودن پارامترهای آزمایش‌ها از قبیل قطر ناحیهٔ دمش و تعداد عبورهای دمش، برای دو طول‌موج دمش نتایج ارائه‌شده در این شکل، جهت مقایسهٔ عملکردی مناسب نبوده و جهت اعتبارسنجی محاسبات انجام شده ارائه شده‌اند.




شکل ۱: مقایسه نتایج تئوری و تجربی، توان خروجی لیزر.

شکل‌های (۲) a و b شار حرارتی تولیدشده برحسب توان دمش برای قطر لکه‌های دمش متفاوت در طول‌موج‌های دمش ۹۶۹ و ۹۴۰ نانومتر را نشان می‌دهند. در سامانهٔ خنک‌سازی کوبشی[11] چند نازلهٔ طراحی و ساخته‌شده، توان خنک‌سازی در حدود ۸۰۰ وات بر سانتی‌متر مربع است. از نتایج این شکل مشخص است که با در نظر گرفتن شار حرارتی مربوط به سامانهٔ خنک‌سازی، با استفاده از دمش ۹۶۹ نانومتر می‌توان قطر لکهٔ دمش را حدود ۲۰ درصد کوچک‌تر کرد.




شکل ۲: شار حرارتی مورد نیاز برای خنک سازی بر حسب قطر لکهٔ دمش، در توانهای دمش مختلف. برای طول‌موج دمش: (a) ۹۴۰ نانومتر و (b) ۹۶۹ نانومتر.

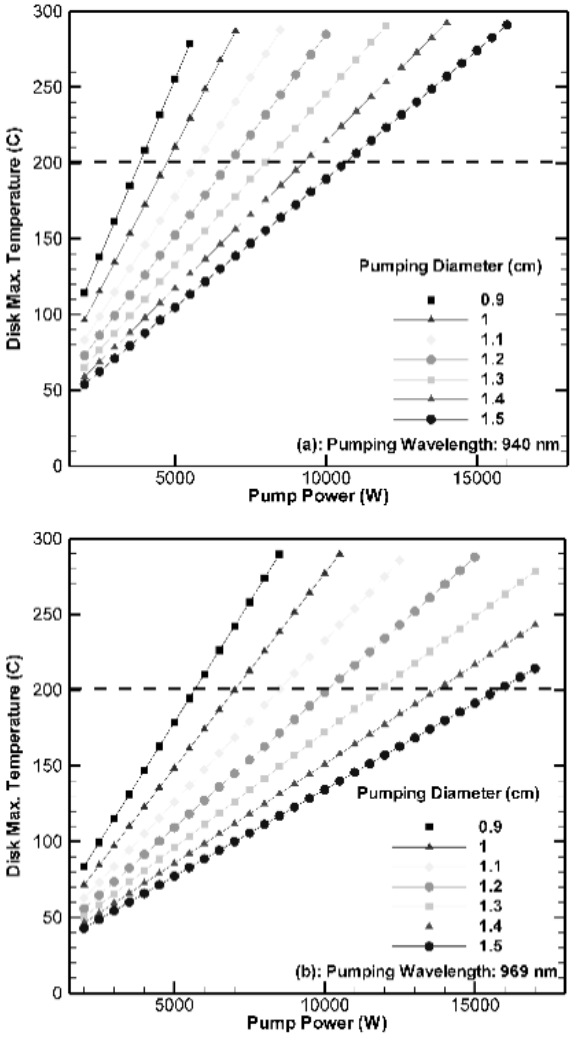
شکل(۳) بیشینه دمای سطح دیسک برحسب توان دمش، در قطر لکه‌های دمش مختلف: (a) دمش با طول‌موج ۹۴۰ نانومتر، (b) دمش ۹۶۹ نانومتر را نشان می‌دهد.

[7] Volume Bragg gratings (VBGs)
[8] Beam-shaping
[9] Multi-pass module
[10] Top-hat
[11] Jet impingement



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30 ]




شکل ۳: دمای بیشینهٔ دیسک بر حسب قطر لکهٔ دمش، در توانهای دمش مختلف.
برای طول¬موج دمش: (a) ۹۴۰ نانومتر و (b) ۹۶۹ نانومتر.

## نتیجه‌گیری

تحلیل نتایج شکل (۲) و (۳)، نشان می دهد که استفاده از دمش در طول‌موج ۹۶۹ نانومتر در یک قطر لکهٔ دمش ثابت، بیشینه توان قابل حصول از لیزر دیسک حدوداً ۴۰ درصد افزایش می‌یابد. به علاوه با هدف یک توان خروجی مشخص لیزر، می‌توان با بهره بردن از دمش ۹۶۹ نانومتر، قطر لکهٔ دمش را حدود ۲۰ درصد کاهش داد. این بدان معنی است که استفاده از این طول‌موج دمش، قابلیت بهبود کیفیت پرتو لیزر خروجی تا حدود ۳۰ درصد را فراهم می‌کند. همچنین در محدودهٔ توان دمش مورد مطالعه، شار گرمایی عامل محدود کنندهٔ غالب نمی‌باشد و دمای سطح دیسک افزایش توان را محدود می‌سازد. بنابراین با استفاده از گرما چاه‌هایی با قابلیت انتقال حرارت بهتر یا خنک‌سازی مستقیم می‌توان توان قابل استحصال بیشینه را در هر دو طول‌موج دمش افزایش داد.

## مرجع‌ها

**[1]** A. Giesen, J. Speiser, “Fifteen years of work on thin-disk lasers: results and scaling laws”, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 13, No.3, pp. 598-609, 2007.

**[2]** D. Kouznetsov, J. Bisson, “Role of undoped cap in the scaling of thin-disk lasers”,JOSA B Vol. 25, No. 3 pp.338-345, 2008.

**[3]** H. Furuse, H. Chosrowjan, J. Kawanaka, N. Miyanaga, M. Fujita, Y. Izawa, “ASE and parasitic lasing in thin disk laser with anti-ASE cap”, Opt. Express, Vol, 21, pp.13118-13124, 2013.

**[4]** S. Arabgari, M. Aghaie, S. Radmard, S. Nabavi, “Thin-disk laser resonator design: The dioptric power variation of thin-disk and the beam quality factor“ , Optik, Vol, 185, pp.868-874, 2019.

**[5]** O. Novák, T. Miura, Smrž, M. Chyla, S.S Nagisetty, J. Mužík, J. Linnemann, H. Turčičová, V. Jambunathan, O. Slezák, S. Chyla,. “Status of the high average power diode-pumped solid state laser development at HiLASE“. Applied Sciences, Vol. 5, No. 4, pp.637-665, 2015

**[6]** S. Radmard, S. Arabgary., M. Shayganmanesh, Sh. Kazemi, , “Investigation on Back Reflected Pumping Light in High Power Quasi-End-Pumped Yb:YAG Thin-Disk Lasers”, IEEE Journal of Quantum Electron, Vol. 48, No, 9, 2012.

**[7]** S. Radmard, S. Arabgary., M. Shayganmanesh “Optimization of Yb:YAG thin-disk-laser design parameters considering the pumping-light back-refl ection”, Optics & Laser Technology, Vol. 63, p. 148–153. 2014.

**[8]** M. Moslehian, S. Arabgari, E. Nahvifard, S. Radmard, “Measurement of gain coefficient and resonator internal loss in Yb:YAG thin-disk-laser”. Optics & Laser Technology, Vol, 118, pp.151-158. 2019.



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-05-30 ]